

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/US05/003357

International filing date: 04 February 2005 (04.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 102004005935.7
Filing date: 06 February 2004 (06.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 13 May 2005 (13.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



US/05/3357

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

10 2004 005 935.7

Anmeldetag:

06. Februar 2004

Anmelder/Inhaber:

Ballard Power Systems AG, 70567 Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellen-
systems bei Minustemperaturen

IPC:

H 01 M 8/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Februar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wenner

Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen.

Brennstoffzellensysteme bei niedrigen Temperaturen, d.h. bei Temperaturen deutlich unter 0°C, in Betrieb zu setzen, stellt generell ein Problem dar. Soll ein Brennstoffzellensystem beispielsweise bei einer Temperatur von -15°C in Betrieb gesetzt werden, wärmt man üblicherweise mit einer dem Brennstoffzellensystem zugeordneten Aufwärmereinrichtung das Brennstoffzellensystem, insbesondere seinen Stapel aus Membranelektrodeneinheiten, auf eine Temperatur von z.B. +5°C auf und startet dann erst das Brennstoffzellensystem. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass das Brennstoffzellensystem zunächst auf eine Temperatur gebracht werden muss, oberhalb derer das vom Brennstoffzellensystem erzeugte Wasser nicht mehr gefrieren und dadurch Probleme erzeugen kann. Die Aufwärmereinrichtung kann einen Brenner zur Erzeugung der benötigten Wärmeenergie umfassen, der z.B. mit dem auch als Treibstoff für das Brennstoffzellensystem dienenden Wasserstoff betrieben wird. Die vom Brenner erzeugte Wärme wird zum Aufheizen eines Kühlmittelfluides verwendet, welches in einem Kühlmittelkreislauf zirkuliert, der im späteren Betrieb des Brennstoffzellenstapels zu dessen Kühlung dient. Das vom Brenner der Aufwärmereinrichtung erwärmte Kühlmittel zirkuliert im Kühlmittelkreislauf und überträgt so die Wärmeenergie auf den Brennstoffzellenstapel, um diesen vorzuwärmen.

Damit ein Brennstoffzellensystem auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen möglichst schnell gestartet werden kann, muss der beschriebene Vorwärmvorgang in möglichst kurzer Zeit erfolgen. Hierzu muss eine beträchtliche Wärmemenge in kurzer Zeit auf das Kühlmittel übertragen werden. Das wiederum bedeutet, dass dem Brenner ein entsprechender Luftstrom zugeführt werden muss, was nur mit einem leistungsfähigen Gebläse oder einem Kompressor möglich ist. Insgesamt ist deshalb die vor dem tatsächlichen Start des Brennstoffzellensystems benötigte elektrische Leistung sehr hoch, denn es müssen nicht nur das erwähnte Gebläse bzw. der Kompressor betrieben werden, sondern darüber hinaus noch die Kühlmittelumwälzpumpe und eine den Aufwärmvorgang regelnde Steuereinheit. Da normalerweise der Brennstoffzellenstapel selbst während des Aufwärmvorgangs keinen Strom erzeugt, wird die benötigte elektrische Energie in der Regel von einer entsprechend groß dimensi-

onierten Batterie bereitgestellt. Insbesondere für mobile Anwendungen der Brennstoffzelle ist dies jedoch aus Gewichts- und Platzgründen unerwünscht.

Die Erfindung hat sich zum Ziel gesetzt, ein verbessertes Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bereitzustellen, das deutlich weniger Batterieenergie benötigt.

Diese Aufgabe ist ausgehend von einem Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoffzellenstapel, dem eine Aufwärmeinrichtung zur Aufheizung eines von einer Kühlmittelpumpe umzuwälzenden Kühlmittels vorgeschaltet ist, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der kalte Brennstoffzellenstapel mit einer Leistung betrieben wird, die genug Strom zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung sowie der Kühlmittelpumpe liefert, dass ferner mit dem von der Brennstoffzelle gelieferten Strom die Aufwärmeinrichtung zum Aufheizen des Kühlmittels und die Kühlmittelpumpe zum Zirkulieren des Kühlmittels zwischen dem Brennstoffzellenstapel und der Aufwärmeinrichtung betrieben werden, und dass schließlich die Aufwärmeinrichtung abgeschaltet wird, wenn der Brennstoffzellenstapel eine vorgegebene Temperatur erreicht hat, die höher als die Ausgangstemperatur ist.

Der erfindungsgemäße Lösungsansatz beruht auf der Fähigkeit, ein Brennstoffzellensystem zumindest für kurze Zeitdauer bei Minustemperaturen mit geringer Last betreiben zu können. Zwar war bekannt, dass Brennstoffzellensysteme bei Minustemperaturen Strom erzeugen können, siehe z.B. das U.S. Patent 5,798,186, jedoch ist auch bekannt, dass ein längerer Betrieb bei Minustemperaturen zu Problemen führen kann, beispielsweise durch Eisbildung in den Leitungen für die Reaktantenströme. Es ist deshalb allgemein immer davon ausgegangen worden, dass der Brennstoffzellenstapel beim Kaltstart eines Brennstoffzellensystems als Stromquelle nicht wirklich geeignet ist. Erfindungsgemäß wurde jedoch gefunden, dass der Brennstoffzellenstapel auch unter diesen Bedingungen eine Strommenge liefern kann, die zumindest zum Betreiben der Aufwärmeinrichtung, vorzugsweise auch zum Betreiben der Kühlmittelpumpe und eines Luftkompressors ausreichend ist. Entscheidend ist die Tatsache, dass der Brennstoffzellenstapel diese Strommenge über eine Zeitdauer liefern kann, die dazu ausreicht, den Brennstoffzellenstapel über den Gefrierpunkt aufzuheizen, bevor es zu einer Eisbildung kommt. Lediglich zum eigentlichen Starten des Brennstoffzellensystems wird noch eine Batterie oder andere Energiequelle benötigt, die jedoch erheblich kleiner als bisher sein kann, da sofort nach dem bei Minustemperaturen erfolgten Start des Brennstoffzellenstapels von Letzterem Strom geliefert wird. Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren

so durchgeführt, dass das Brennstoffzellensystem mit einer Leistung betrieben wird, die gerade dazu ausreicht, den zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung einschließlich der Kühlmittelpumpe sowie eventuell erforderlicher Nebenaggregate benötigten Strom zu liefern.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass der Brennstoffzellenstapel selbst sofort nach seinem Start bei Minustemperaturen Wärme entwickelt, was zu seiner schnelleren Aufheizung und damit zu einer geringeren Wartezeit bis zur Verfügungstellung der vollen Leistung des Brennstoffzellensystems führt.

Erfindungsgemäß ist selbst eine Unterbrechung des Startvorgangs, der für gewöhnlich etwa 1 Minute dauert, kein Problem mehr, denn der kalte Brennstoffzellenstapel kann für mehrere Minuten mit geringer Last betrieben werden, was drei bis vier aufeinanderfolgende Startvorgänge nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erlaubt.

Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die vorgegebene Temperatur $+5^{\circ}\text{C}$, d.h. die Aufwärmeinrichtung des Brennstoffzellensystems wird abgeschaltet, wenn der Brennstoffzellenstapel eine Temperatur von $+5^{\circ}\text{C}$ erreicht hat. Es versteht sich jedoch, dass andere vorgegebene Temperaturen erfindungsgemäß ebenfalls möglich sind, wenn diese Temperaturen ausreichend hoch sind, um dem jeweiligen Brennstoffzellensystem zu ermöglichen, seine Betriebstemperatur ohne zusätzliche äußere Wärmezufuhr zu erreichen. Diesbezüglich wird derzeit davon ausgegangen, dass solche vorgegebenen Temperaturen für Brennstoffzellensysteme mit einem Feststoffpolymerelektrolyten oberhalb des Gefrierpunkts sein müssen, vorzugsweise bei oder über $+5^{\circ}\text{C}$.

Bei bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Aufwärmeinrichtung ein Brenner. Dieser Brenner kann beispielsweise mit Wasserstoff betrieben werden, was insofern vorteilhaft ist, als der Brennstoffzellenstapel selbst ebenfalls Wasserstoff für seinen Betrieb benötigt. Wenn die Aufwärmeinrichtung ein Brenner ist, wird der Schritt des Betriebes des kalten Brennstoffzellenstapels mit geringer Last zur Erzeugung des benötigten Stroms so durchgeführt, dass genügend Strom für die zum Betrieb des Brenners erforderlichen Nebenaggregate (Starteinrichtung des Brenners, Gebläse oder Kompressor zur Luftversorgung etc.) erzeugt wird. Selbstverständlich muss auch genügend Strom zum Betrieb der Kühlmittelpumpe zur Verfügung stehen.

Ist die Aufwärmeinrichtung ein Brenner, so hat das erfindungsgemäße Verfahren Vorteile auf der Kostenseite dadurch, dass weder der Brenner noch der oder die Wärmetauscher konsequent auf geringsten Druckverlust ausgelegt sein müssen, wie dies herkömmlich der Fall war, um die zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung vor dem eigentlichen Start des Brennstoffzellensystems benötigte elektrische Energie möglichst gering zu halten. Erfindungsgemäß können deshalb sowohl der Brenner als auch der oder die Wärmetauscher kleiner und damit kostengünstiger und auch kompakter ausgeführt werden.

Wenn die Aufwärmeinrichtung ein Brenner ist, ergeben sich noch weitere Vorteile durch das erfindungsgemäße Verfahren daraus, dass gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zur Versorgung des Brennstoffzellenstapels und des Brenners mit Sauerstoff ein und derselbe Luftkompressor verwendet wird. Der Strombedarf sinkt dadurch ebenfalls nochmals.

Wird beim erfindungsgemäßen Verfahren ein und derselbe Luftkompressor zur Luftversorgung des Brenners und des Brennstoffzellenstapels verwendet, dann wird vorzugsweise die vom Luftkompressor bereitgestellte Luftmenge in einem den Brenner bevorzugenden Verhältnis zwischen dem Brenner und der Brennstoffzelle aufgeteilt. Bei einer Ausführungsform beträgt dieses Verhältnis 4 : 1.

Als Brenner wird im erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise ein Hochleistungs-Gasbrenner verwendet. Ein solcher Hochleistungs-Gasbrenner kann die beträchtliche, auf das Kühlmittel zu übertragende Wärmemenge in kurzer Zeit bereitstellen. Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen hat der Hochleistungs-Gasbrenner eine Leistung im Bereich von etwa 30 kW bis 90 kW. Ein solcher Brenner benötigt im Betrieb je nach gewünschter Brennerleistung einen Luftmassenstrom von etwa 50 kg/h bis 300 kg/h. Vorzugsweise wird, wie bereits erwähnt, Wasserstoff zum Betrieb des Brenners eingesetzt.

Die vorliegende Erfindung stellt damit insgesamt ein erheblich verbessertes Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen bereit, mit dem bei verringertem Batteriestrombedarf und verringertem Bauraumbedarf aufgrund kleinerer Komponenten dennoch die erwünschten kurzen "Startzeiten" erreicht werden. Mit dem Begriff "Startzeit" ist hier der Zeitraum gemeint, der bei kaltem Brennstoffzellensystem vergeht, bis der Brennstoffzellenstapel dazu in der Lage ist, seine volle Leistung zu liefern.

Die beigegefügte, einzige Figur erläutert anhand eines Brennstoffzellenstapels mit vorgeschalteter bzw. integrierter Aufwärmeinrichtung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die einzige Figur zeigt schematisch einen Brennstoffzellenstapel 10 mit einer Anode 12 und einer Kathode 14. Der Anode 12 wird durch eine Leitung 16 Wasserstoff aus einer nicht dargestellten Quelle zugeführt. Der Kathode 14 wird durch eine Leitung 18 Sauerstoff in Form von Luft zugeführt, die mittels eines Kompressors 20 verdichtet wurde. In bekannter und deshalb hier nicht näher zu erläuternder Weise erzeugt der Brennstoffzellenstapel 10 im Betrieb aus dem ihm zugeführten Wasserstoff und Sauerstoff Strom und Wasser.

Damit der Brennstoffzellenstapel 10 im Betrieb gekühlt werden kann, steht er in wärmeübertragender Verbindung mit einem Kühlkreislauf 22, der die im Betrieb des Brennstoffzellenstapels 10 entstehende, überschüssige Wärme mit Hilfe eines im Kühlkreislauf 22 angeordneten, als Kühler ausgebildeten Wärmetauschers 23 abführen kann. Um den Brennstoffzellenstapel 10 bei sehr niedrigen Umgebungstemperaturen schneller auf Betriebstemperatur bringen zu können, steht der Kühlkreislauf 22 darüber hinaus in wärmeübertragender Verbindung mit einer Aufwärmeinrichtung 24, die in einer Startphase dem im Kühlkreislauf 22 zirkulierenden Kühlmittel Wärme zuführt.

Die Aufwärmeinrichtung 24 enthält im gezeigten Ausführungsbeispiel einen mit Wasserstoff betriebenen Hochleistungs-Gasbrenner 26, der heißes Gas erzeugt, dessen Wärme mittels eines weiteren Wärmetauschers 28 auf das im Kühlkreislauf 22 zirkulierende Kühlmittel übertragen wird. Der Gasbrenner 26 wird durch eine Leitung 30, die von der Leitung 16 abzweigt, mit Wasserstoff versorgt. In einem dem Gasbrenner 26 vorgeschalteten Mischer 32 wird der Wasserstoff mit der zu einer korrekten Verbrennung erforderlichen Luftmenge vermischt, die vom Kompressor 20 in die Leitung 18 gefördert wird. Regelventile 34 und 36 sorgen für die gewünschte Aufteilung des Wasserstoffstroms und des Luftstromes zwischen dem Brennstoffzellenstapel 10 und dem Gasbrenner 26 bzw. dem Mischer 32.

Eine Kühlmittelpumpe 38 lässt das Kühlmittel im Kühlkreislauf 22 zirkulieren. Wie in der Figur gezeigt ist der Kühlkreislauf 22 typischerweise ein geschlossener Kreislauf. Der Wärmetauscher 23 zum Kühlen des Kühlmittels im Betrieb ist im gezeigten Ausführungsbeispiel ein vom Wärmetauscher 28, der zum Aufheizen des Kühlmittels in der Startphase verwendet wird, separater Wärmetauscher, jedoch können der Wär-

metauscher 28 und der Wärmetauscher 23 auch gemeinsame Teile verwenden bzw. integriert miteinander ausgebildet sein.

Die Funktion der gezeigten Anordnung ist wie folgt: Zunächst wird mittels einer nicht dargestellten Batterie der Kompressor 20 in Gang gesetzt und die Wasserstoffversorgung durch die Leitung 16 geöffnet, so dass Luft und Wasserstoff dem Brennstoffzellenstapel 10 zugeführt werden. Der Brennstoffzellenstapel 10 nimmt seinen Betrieb auf und wird mit seiner Steuerung so eingestellt, dass er mit geringer Last arbeitet, z.B. mit etwa 10 % seiner Nennleistung. Der vom Brennstoffzellenstapel 10 erzeugte Strom wird nun zum Antreiben des Kompressors 20, der Kühlmittelpumpe 38 sowie aller für einen Betrieb der Aufwärmeinrichtung 24 und des Brennstoffzellenstapels 10 erforderlichen Nebenaggregate verwendet. Die Aufwärmeinrichtung 24, insbesondere ihr Gasbrenner 26, wird gestartet und das von ihm erzeugte Heißgas heizt das Kühlmittel im Kühlkreislauf 22 auf, welches von der Kühlmittelpumpe 38 im Kühlkreislauf 22 zirkuliert wird. In diesem Betriebszustand ist der Wärmetauscher 23 ohne Funktion, d.h. ihm wird entweder kein Kühlmedium zugeführt oder das im Kühlkreislauf 22 zirkulierende Kühlmittel wird an dem Wärmetauscher 23 vorbeigeführt, beispielsweise mittels einer den Wärmetauscher 23 umgehenden Bypassleitung (nicht dargestellt).

Sobald der Brennstoffzellenstapel 10 eine zum normalen Betrieb erforderliche Temperatur erreicht hat, beispielsweise $+5^{\circ}\text{C}$, wird der Gasbrenner 26 abgestellt und der Brennstoffzellenstapel 10 kann mit erhöhter Last oder, falls erforderlich, mit voller Last betrieben werden. Der Kühlkreislauf 22 kommt in diesem Betriebszustand mittels des Wärmetauschers 23 seiner eigentlichen Aufgabe der Kühlung des Brennstoffzellenstapels 10 nach.

Zur weiteren Erläuterung wird im Folgenden ein Beispiel angegeben, wie das Verfahren der vorliegenden Erfindung auf ein Brennstoffzellensystem angewendet werden kann.

Zur Versuchsdurchführung diene ein Polymerelektrolytmembranbrennstoffzellenstapel mit einer Leistung von ca. 85 kW. Dieser Brennstoffzellenstapel kann bei -15°C für ungefähr 3 bis 4 Minuten bei einer Last zwischen etwa 5 % und 10 % seiner Nennleistung, d.h. mit einer Leistung zwischen ungefähr 4 bis 7 kW betrieben werden, bevor es zu Problemen mit Eisbildung und ähnlichem kommt.

Entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren muss dem Brennstoffzellensystem nur die Wärmemenge zugeführt werden, die dazu ausreicht, den Brennstoffzellenstapel von -15°C auf eine Temperatur zu bringen, bei der der Brennstoffzellenstapel selbst dazu in der Lage ist, ohne weitere äußere Hilfe seine Betriebstemperatur zu erreichen. Bei dem untersuchten Brennstoffzellensystem wurde diese Temperatur mit $+5^{\circ}\text{C}$ angenommen. Um drei bis vier aufeinanderfolgende Startvorgänge in schneller Abfolge durchführen zu können, muss jeder Startvorgang in weniger als etwa 1 Minute abgeschlossen sein.

Um den Brennstoffzellenstapel von -15°C auf $+5^{\circ}\text{C}$ aufzuwärmen, muss eine berechnete Wärmemenge von 1800 bis 2200 kJ in das Kühlmittel eingebracht werden. Es ist wünschenswert, diese Wärmemenge innerhalb von etwa 40 Sekunden auf das Kühlmittel zu übertragen, damit während der restlichen etwa 20 Sekunden das Kühlmittel die aufgenommene Wärme auf den Brennstoffzellenstapel selbst übertragen kann. Die genannten Anforderungen führen zu einer Leistung von ungefähr 45 bis 55 kW, die der Brenner erzeugen können und der Wärmetauscher übertragen können muss. Damit der Brenner diese Wärmemenge erzeugen kann, müssen schätzungsweise etwa 200 kg/h Luft zum Brenner und anschließend zum Wärmetauscher geleitet werden. Unter der Annahme, dass weitere 3 bis 50 kg/h an Luft im gleichen Zeitraum dem Brennstoffzellenstapel zugeführt werden müssen, damit er den erforderlichen elektrischen Strom erzeugen kann, muss deshalb der Kompressor während des Startvorgangs einen Strom von ungefähr 230 bis 250 kg/h liefern können. Abhängig vom Druckgradienten, der vom Kompressor erzeugt werden muss, ergibt sich daraus etwa 2 bis 5 kW elektrischer Leistung, die dem Kompressor zugeführt werden müssen. Hinzu kommen die ungefähr 800 W an elektrischer Leistung, die von der Kühlmittelpumpe benötigt werden, und die ungefähr 500 W, die von weiteren Lasten wie Sensoren, Steuerungen etc. benötigt werden, so dass schätzungsweise $3\frac{1}{2}$ bis $6\frac{1}{2}$ kW elektrischer Leistung während des Startvorgangs von dem Brennstoffzellenstapel erzeugt werden müssen.

Wie zuvor dargelegt, kann eine solche Leistung von dem Brennstoffzellenstapel schon während des Startvorgangs erzeugt werden und es kann deshalb eine kleinere Starterbatterie verwendet werden. Eine Starterbatterie, die nur den Brennstoffzellenstapel zu starten in der Lage sein muss, braucht nur eine Leistung von nicht mehr als 1,5 kW für weniger als 5 Sekunden aufzuweisen, wohingegen eine Batterie, die auch den Strom während des Kaltstartvorgangs liefern soll, eine Leistungsabgabe von zumindest rund 6 kW für bis zu 60 Sekunden haben muss. Ersichtlich ist eine 1,5 kW Batterie deutlich kleiner und erheblich billiger als eine 6 kW Batterie.

Die oben genannten Ausführungs- und Anwendungsbeispiele sind lediglich als beispielhaft anzusehen. Es versteht sich, dass insbesondere die genannten Zahlenwerte sich von einem Brennstoffzellensystem zu einem anderen Brennstoffzellensystem in Abhängigkeit der gewählten Konstruktion und der Nennleistung unterscheiden können.



1527



Patentansprüche

1. Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen, wobei das Brennstoffzellensystem einen Brennstoffzellenstapel hat, dem eine Aufwärmeinrichtung zur Aufheizung eines von einer Kühlmittelpumpe umzuwälzenden Kühlmittels vorgeschaltet ist, mit den Schritten:
 - Betreiben des Brennstoffzellenstapels mit einer Leistung derart, dass der erzeugte Strom zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung sowie der Kühlmittelpumpe ausreicht,
 - Betreiben der Aufwärmeinrichtung zum Aufheizen des Kühlmittels sowie der Kühlmittelpumpe mit dem von dem Brennstoffzellenstapel gelieferten Strom und Zirkulieren des Kühlmittels zwischen dem Brennstoffzellenstapel und der Aufwärmeinrichtung,
 - Abschalten der Aufwärmeinrichtung, wenn der Brennstoffzellenstapel eine vorgegebene Temperatur erreicht hat, die höher als die Ausgangstemperatur ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Temperatur wenigstens 0 Grad Celsius ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebene Temperatur wenigstens +5 Grad Celsius ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoffzellenstapel mit einer 10 % der Nennleistung des Brennstoffzellensystems nicht übersteigenden Leistung betrieben wird, bis die vorgegebene Temperatur erreicht ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufwärmeinrichtung ein Brenner ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zum Betreiben des Brenners die zum Betrieb des Brenners erforderlichen Nebenaggregate mit Strom von dem Brennstoffzellenstapel versorgt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass der Brenner mit Wasserstoff betrieben wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Versorgung des Brennstoffzellenstapels und des Brenners mit Sauerstoff ein und derselbe Luftkompressor verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass der Brenner ein Hochleistungs-Gasbrenner ist.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass die vom Luftkompressor bereitgestellte Luftmenge zwischen dem Brenner und dem Brennstoffzellenstapel in einem den Brenner bevorzugenden Verhältnis aufgeteilt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass die vom Luftkompressor bereitgestellte Luftmenge im Verhältnis 4:1 zwischen dem Brenner und dem Brennstoffzellenstapel aufgeteilt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass der Brennstoffzellenstapel ein Feststoffpolymerelektrolytbrennstoffzellenstapel ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass das Brennstoffzellensystem eine Starterbatterie aufweist.
14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass die Starterbatterie dafür ausgelegt ist, die zum Zuführen von Reaktanten zum Brennstoffzellenstapel notwendigen Nebenaggregate mit Strom zu versorgen, bis der Brennstoffzellenstapel selbst elektrischen Strom erzeugt.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt die Starterbatterie wie zum Zuführen von Reaktanten zum Brennstoffzellenstapel notwendigen Nebenaggregate mit Strom versorgt und dass diese Stromversorgung beendet wird, wenn der Brennstoffzellenstapel elektrischen Strom erzeugt.

Zusammenfassung

Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kaltstarten eines Brennstoffzellensystems bei Minustemperaturen, wobei das Brennstoffzellensystem einen Brennstoffzellenstapel aufweist, dem eine Aufwärmeinrichtung zur Aufheizung eines von einer Kühlmittelpumpe umzuwälzenden Kühlmittels vorgeschaltet ist. Zur Verminderung des Bedarfs an gespeicherter elektrischer Energie sieht das Verfahren vor, dass der kalte Brennstoffzellenstapel mit einer Leistung betrieben wird, derart, dass genügend Strom zum Betrieb der Aufwärmeinrichtung sowie der Kühlmittelpumpe erzeugt wird, dass die Aufwärmeinrichtung zum Aufheizen des Kühlmittels sowie die Kühlmittelpumpe mit dem von dem Brennstoffzellenstapel gelieferten Strom betrieben werden, wobei die Kühlmittelpumpe das Kühlmittel zwischen dem Brennstoffzellenstapel und der Aufwärmeinrichtung zirkuliert, und dass die Aufwärmeinrichtung abgeschaltet wird, wenn der Brennstoffzellenstapel eine vorgegebene Temperatur erreicht hat, die höher als die Ausgangstemperatur ist.

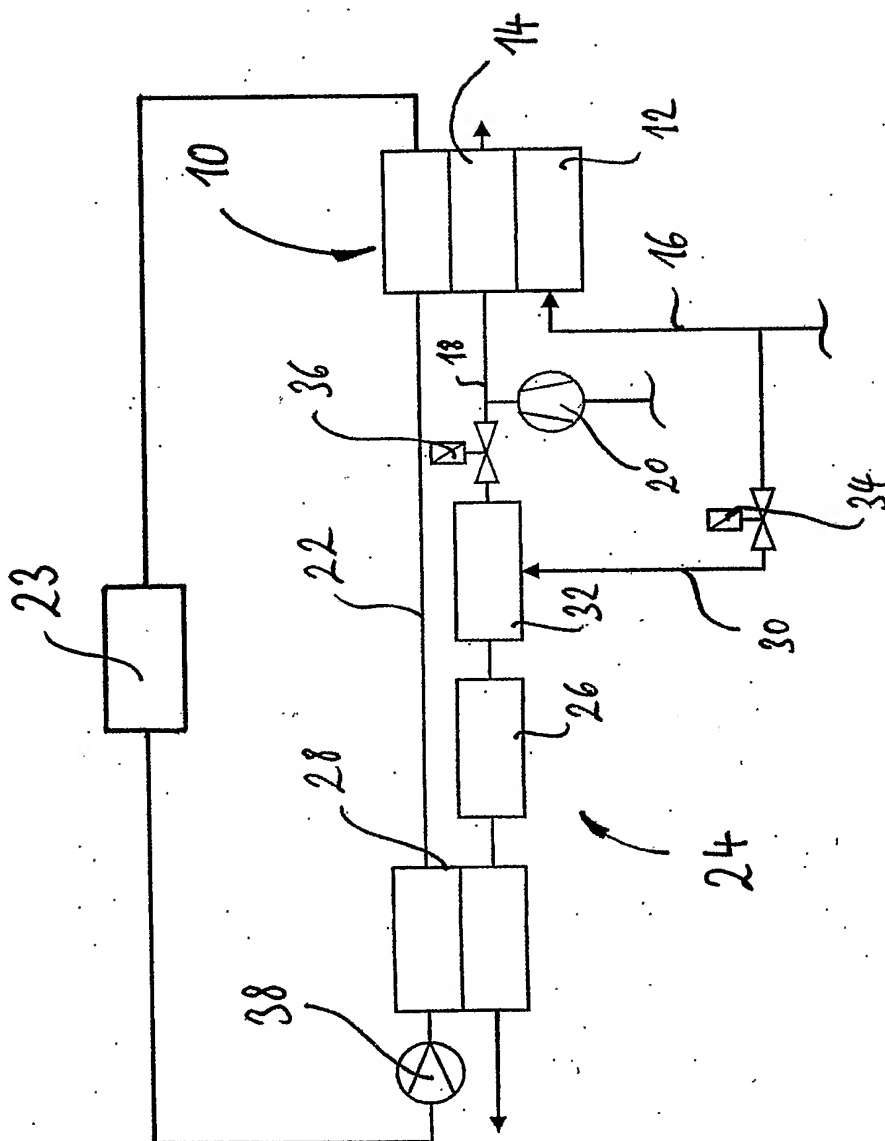


Fig.